バッテリー駆動アプリケーション向けのシステム ソリューション：インフィニオンによる4回にわたるビデオ解説シリーズPart 2 コンパクトな低電圧 (LV) モーター駆動/制御設計用の高電力密度および熱管理

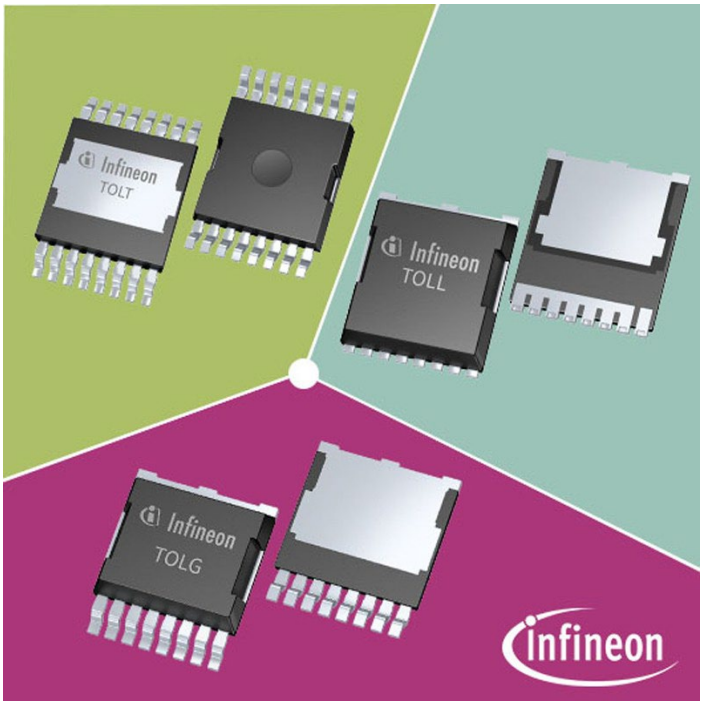
著者: インフィニオン　テクノロジーズ社、 パワーディスクリート、 シニアスペシャリスト プロダクトマネージメントFrancesca Pastorelli

日付: 2022年1月31日

カテゴリー: MOSFETs & Power MOSFETs, Packaging, PCB (Printed Circuit Boards), Power ICs, Thermal Management
Tag: @psd #technology #Infineon #MOSFET

パワーMOSFETパッケージのイノベーションが熱問題を克服する方法

課題



画像をクリックすると拡大します

熱管理は、ソリューションの効率と寿命に影響を与えるため、モーター制御および駆動の設計において最大の課題の一つです。バッテリー駆動アプリケーションでは、より高度な冷却メカニズムが採用され、より小型なヒートシンクや基板冷却以外の異なるアプローチが求められます。パワーMOSFETパッケージの技術革新は、熱の問題を克服する製品を開発することによって、こうした新しい業界のニーズに応えます。

最先端ソリューション

現在、市販されているパワーMOSFET のパッケージは、THD (スルーホールデバイス) やSMD (表面実装) など、ほとんどが底面冷却型です。THD (TO-220など) では、部品のピンがプリント基板のスルーホールに挿入されているため、ヒートシンクに直接熱が伝わる可能性があります。一方、SuperSO8 5x6のような表面実装 (SMD) は、PCBに直接実装されます。現在、ほとんどの技術革新はSMDパッケージを使用して起こっており、特に両面冷却と上面冷却の冷却機能が注目されています。

両面冷却ソリューションは、ヒートシンクを介して上部に別の熱経路を追加することで、底面冷却に比べて高い電力密度を実現します。さらに、PCBを介した熱拡散がない場合、上面冷却はヒートシンクに直接熱を運ぶのに役立ち、ジャンクションと周囲の間の熱抵抗 (R_{thJA}) を20%向上させます。

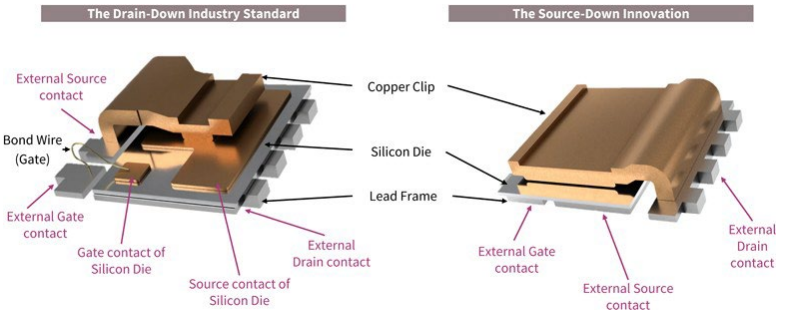
"Power Systems Design Edition 14/02/2022", Copyright of © Power Systems Corporation

パッケージの技術革新が優れた熱設計を実現

熱性能は、12 Vから48 Vの電動工具など、高出力アプリケーションにおいて特に重要なアプリケーション要件の一つとなっています。インフィニオンは、より高い電力密度を実現する小型フットプリント (ソースダウン 3.3 x 3.3mm^2 など) から、より堅牢な設計が求められる大電流ソリューション (S-D-3.3mm など) まで、革新的ソリューションを提供する幅広いパッケージ ラインアップ (TOLx ファミリーなど) を提供しています。.

ソースダウンパッケージコンセプト

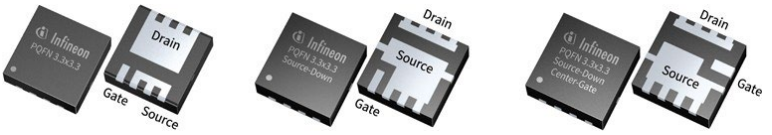
ソースダウンは、パッケージの革新に向けた画期的なアプローチです。MOSFETパッケージ内のシリコンダイを上下反転させるという新しいコンセプトです。ソース電位はドレイン電位ではなく、リードフレーム側に接続されています (図 1)。



画像をクリックすると拡大します

図 1　PQFN 3.3 × 3.3mm ドレインダウン (DD) パワーMOSFETの内部構造 (左) とPQFN 3.3×3.3mmの ソースダウン (SD) パワーMOSFETの内部構造 (右)

ドレインの (ダイ上部からの) 電気的接続は、非常に大きな銅クリップで実現することができます。さらに、標準ゲート (図 2b) とセンターゲート (図 2c) の2つのフットプリントを用意し、さらに優れた並列化を可能にしました。ドレイン、ソース、ゲートの電気的接続は同じ場所にあるため、ドロップインで簡単に置き換えができます。



画像をクリックすると拡大します

図 2　標準PQFN 3.3x3.3 mm (a)、新しいソースダウンPQFN 3.3 x 3.x mm (b)、新しいソースダウンCG (Center-Gate) PQFN 3.3x3.3 mm (c) パッケージ フットプリント

このパッケージにより、オン抵抗 ($R_{DS(on)}$) の大幅な低減、熱抵抗の改善 (R_{thJC} 22%減)、レイアウトの最適化など多くの利点が得られます。

"Power Systems Design Edition 14/02/2022", Copyright of © Power Systems Corporation

Voltage class	PQFN 3.3x3.3 Source-Down (SD)	Source-Down vs. Standard 3x3 $R_{DS(on)}$ improvement	PQFN 3.3x3.3 Drain-Down (DD)	SuperSO8 (5x6)
25 V	IQE006NE2LM5 $R_{DS(on)}$ = 0.65 mΩ	-28%	BSZ009NE2LS5 $R_{DS(on)}$ = 0.9 mΩ	BSC004NE2LS5 $R_{DS(on)}$ = 0.4 mΩ
30 V	IQE008N03LM5 $R_{DS(on)}$ = 0.85 mΩ	-43%	BSZ0500NSI $R_{DS(on)}$ = 1.5 mΩ	ISC011N03L5S $R_{DS(on)}$ = 1.1 mΩ
40 V	IQE013N04LM6 $R_{DS(on)}$ = 1.3 mΩ	-28%	BSZ018N04LS6 $R_{DS(on)}$ = 1.8 mΩ	BSC014N04LS $R_{DS(on)}$ = 1.4 mΩ
60 V	IQE030N06NM5 $R_{DS(on)}$ = 3.0 mΩ	-23%	BSZ039N06NS $R_{DS(on)}$ = 3.9 mΩ	BSC028N06NS $R_{DS(on)}$ = 2.8 mΩ
80 V	IQE050N08NM5 $R_{DS(on)}$ = 5.0 mΩ	-33%	BSZ075N08NS5 $R_{DS(on)}$ = 7. 5 mΩ	BSC052N08NS5 $R_{DS(on)}$ = 5.2 mΩ
100 V	IQE065N10NM5 $R_{DS(on)}$ = 6.5 mΩ	-19%	ISZ080N10NM6 $R_{DS(on)}$ = 8.0 mΩ	BSC070N10NS5 $R_{DS(on)}$ = 7.0 mΩ

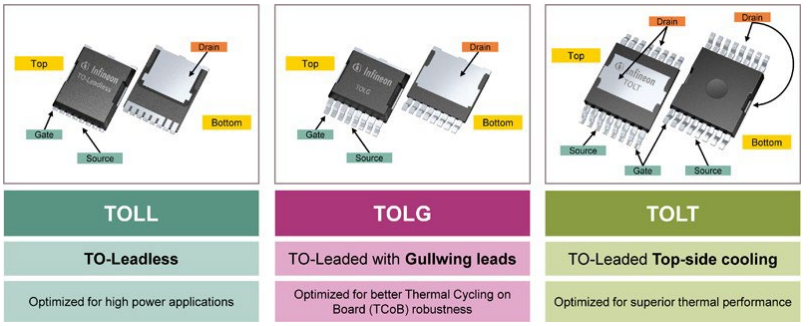
画像をクリックすると拡大します

表 1 *ソースダウン3.3x3.3 PQFN、ドレインダウン3.3x3.3 PQFN、SuperSO8 5x6との比較*

表 1 に示すように、ソースダウン 3.3 x 3.3mm^2 の主な利点は、ドレインダウン パッケージに比べて、$R_{DS(on)}$ と熱管理が約 30%向上していることです。さらに、SuperSO8 5x6 mm^2 パッケージとの比較でフットプリントを65%も縮小でき、よりコンパクトな設計を実現します。
熱管理に関して、ソースダウンコンセプトでは、より低い温度での設計が可能になるため、複数の利点があります。明らかに、損失が低減すると、デバイスの温度が下がるため、$R_{DS(on)}$は熱に大きな影響を与えます。ほとんどの改善は、銅リードフレームに配置されたアクティブトレンチによるものです。これらのトレンチで発生した熱は、リードフレームを越えて PCB に直接伝導することができます。さらに、ソースダウン 3.3 x 3.3mm^2 は、標準およびセンターゲート構成の両方で、両面冷却 (DSC) [1] の優れた機能とともに利用可能です。

TOLxパッケージファミリー (TOLL、TOLG、TOLT)

インフィニオンは、定評あるTO-Leadlessパッケージ に加えてTOLG (TOリード ガルウィング設計) とTOLT (TOリード 上面冷却型）という2つの新しいパッケージを導入し、低$R_{DS\,(on)}$ と大電流容量という優れた主要特性によって、お客様のさまざまなニーズに対応しています。



画像をクリックすると拡大します

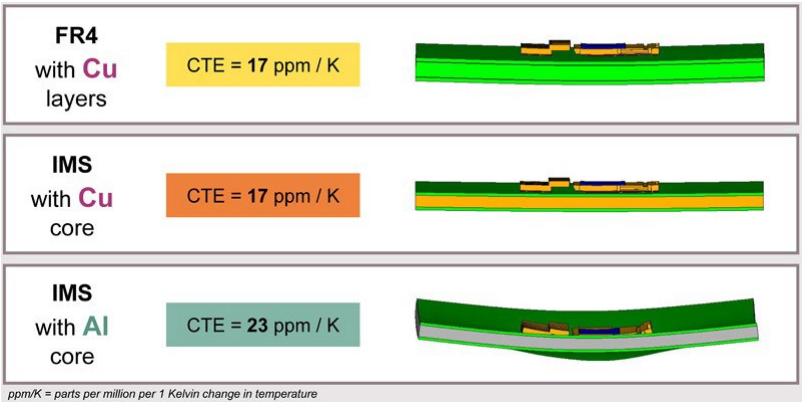
図 3 *TO-リードレス (a)、ガルウィング形状のTO-リード (b)、上面冷却のTO-リード (c)*

TOLG (TOリード ガルウィング設計)

TOLLと同じフットプリントと電気的性能を持つTOLGの大きな利点は、D2 PAK 7-pinの大きな特徴といえるリードの柔軟性にあります。しかしTOLGは、D2 PAK 7-pinに比べ、ボードスペースを約60%削減し、きわめてコンパクトな設計向けに最適なソリューションとなります。

"Power Systems Design Edition 14/02/2022", Copyright of © Power Systems Corporation

熱膨張係数 (CTE) は、温度変化に対して材料が形状を変化させる傾向を表します。MOSFETの動作中、シリコンダイは加熱され、PCBに熱を伝え、PCBのコア材料によって、異なるレベルのPCB熱膨張が発生します。FR4やCu-IMS基板の場合、PCBには柔軟性があり、MOSFETパッケージと同じCTEであるため、この膨張/変形は深刻ではありません。しかし、Al-IMS基板の場合、この変形により、PCBとMOSFETの間のはんだ層に機械的ストレスが発生します。この温度サイクルは、時間とともにはんだ接合部にクラックを発生させることになり、最終的には故障の原因になります。



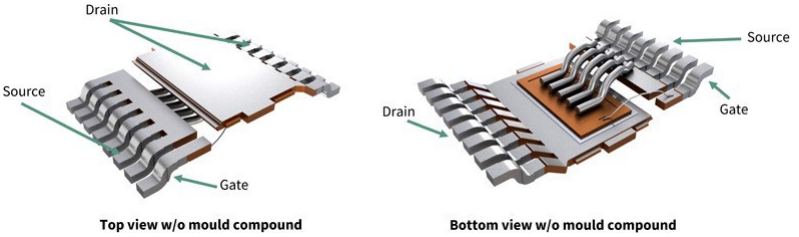
画像をクリックすると拡大します

図 4　FR4とIMS基板のTOリードレス (TOLL) の 反り、CTE不整合との相関性

TOLGの利点は、パッケージとプリント基板間のはんだ接合部を検査する二次信頼性試験である基板上の温度サイクル (TCoB) において特に顕著です。ガルウィングリードが持つ柔軟性により、新パッケージはAl-IMS基板上で優れたはんだ接合信頼性を発揮します。これは、標準的な要求事項 (IPC9701) と比べ、TCoB動作 が2倍優れていることを実証しています。

TOLT (TO-リード、上面冷却)

TOLTは、OptiMOS™ ポートフォリオの中で 初めての上面冷却パッケージです。このパッケージは、リードフレームを反転させ、上面に金属を露出させた構造になっており、大電流を流すドレインとソースを接続するための複数のガルウィングリードが各面に配置されています。また、露出したパッドは錫フリーです。

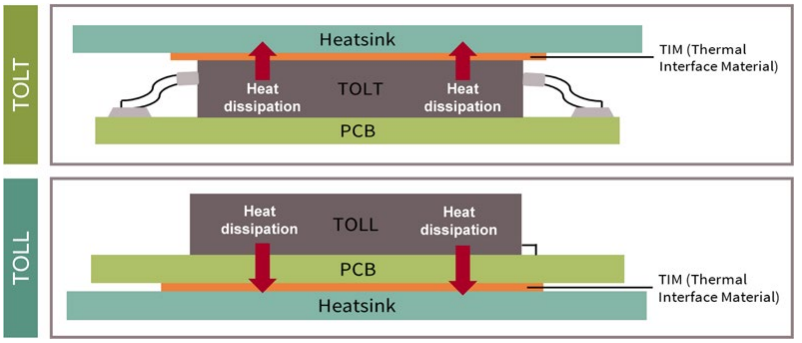


画像をクリックすると拡大します

図 5　TO-リード、上面冷却 (TOLT) パッケージ構造

リードフレームを反転させた場合、露出した金属上面から絶縁材を伝って直接ヒートシンクに熱が伝わります。TOLLなどの底面冷却パッケージの場合、プリント基板を経由してヒートシンクに放熱されるため、プリント基板の熱抵抗による電力損失が発生します。新しいTOLTパッケージは、R_{thJA} を20%、R_{thJC} を50%向上させることに成功しました。

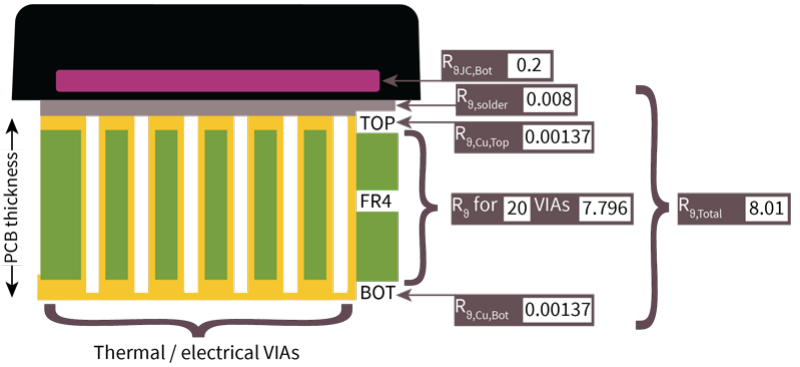
"Power Systems Design Edition 14/02/2022", Copyright of © Power Systems Corporation



画像をクリックすると拡大します

図 6　上面冷却と底面冷却の放熱量の比較

三相BLDCモーター駆動インバータでTOLLとTOLTを比較すると、TOLTは底面冷却設計に比べ、接合部温度が25°C低いことがわかります。



画像をクリックすると拡大します

図 7　TOLL底面冷却熱抵抗

	TOLL	TOLT
Ambient temperature	30°C	30°C
Phase current (RMS)	50 A	50 A
Junction temperature	84°C	59°C

画像をクリックすると拡大します

表 2　BLDCモーター駆動インバータにおけるTOLLとTOLTの比較

最大接合部温度150°Cの場合、トップサイド冷却のTOLTの電流処理能力は72 A_{RMS}、底面冷却のTOLLは53 A_{RMS} (いずれも同サイズのヒートシンクで使用) です。これは、TOLTが36%向上したことを意味します。冷却性能の向上により、TOLTは、T_jを下げると$R_{DS(on)}$が下がるため、FR4基板での電力損失が改善され、ヒートシンクの要件が小さくなり、より高い出力電力を扱うことができるようになりました。

"Power Systems Design Edition 14/02/2022", Copyright of © Power Systems Corporation

熱管理ソリューションのユニークな製品ラインアップ

増え続けるインフィニオンのパワーMOSFET の製品ラインアップは、モーター制御/ドライブおよびバッテリー駆動アプリケーションの設計者に、ソースダウン 3.3 x 3.3 mm^2 のような小型フットプリントから、より高い電力密度の設計を行うための、(TOLx ファミリーのような) より堅牢なソリューションまで、熱問題を克服するための数多くの選択肢を提供します。

詳細については、インフィニオンのモーター制御およびドライブ　ソリューションの製品群と、TOLxやソースダウンなどの最新の革新的なパッケージ ファミリーをぜひご覧ください。

インフィニオン テクノロジーズ

---

[1] 2022年には、DSC (両面冷却) 製品によるポートフォリオエクステンションを発売予定です。

"Power Systems Design Edition 14/02/2022", Copyright of © Power Systems Corporation